

# 土の構成則に関連する相互作用ばねを用いた単杭の水平載荷の2次元有限要素解析

## - その1、砂質地盤 -

安藤建設 正会員 ○川中 政美

東亜建設工業

安藤 崇男

東電設計 正会員 溜 幸生

京都大学防災研究所 正会員

井合 進

沿岸開発技術研究センター

田河 祥一

### 1. はじめに

著者らは有限要素法に基づく2次元有効応力解析プログラム FLIP<sup>1)</sup>において、土の構成則に連動する杭 - 地盤相互作用ばね<sup>2)</sup>を提案した。本検討では、この杭 - 地盤相互作用ばねの適用性を明らかにすることを目的として、既往の単杭の実物大実験（砂質地盤）<sup>3)</sup>を対象に提案した相互作用ばねを用いた静的解析を行った。以下、検討内容について示す。

### 2. 検討方法

参照した実物大実験<sup>3)</sup>は、砂質地盤における杭長4m（短杭）と12m（長杭）の場所打ちコンクリート杭（直径0.8m）に対する杭頭固定条件下での水平載荷試験である。地盤調査結果をもとに設定した地盤定数を表-1に、場所打ちコンクリート杭の材料および断面特性を表-2に、杭の曲げモーメント - 曲率関係<sup>4)</sup>を図-1に示す。

解析に用いた解析メッシュを図-2に示す。土に多重せん断メカニズムに基づく有効応力モデル<sup>1)</sup>を考慮し、杭を図-1の特性を考慮した非線形はりとしてモデル化した。杭が位置す

る土の節点と非線形はりの節点を杭 - 地盤相互作用ばねで連結した。解析は静的な条件で、杭頭部に水平方向に強制変位を与えることで行った。浅い領域においては、杭前面地盤が持ち上がるように変形することにより地盤反力の上限値が深い領域より小さくなる<sup>4)</sup>ことが考えられたので、その部分（ここではGL-5.8m以浅<sup>5)</sup>）においては相互作用ばねの地盤反力を低減係数により変化させる解析も行った。

表-1 地盤定数

| 土質区分      | 下限深度<br>m | 平均N値<br>N | 単位体積重量<br>$\rho$<br>t/m <sup>3</sup> | せん断弾性波速度<br>Vs<br>m/sec | せん断弾性係数<br>G <sub>max</sub><br>kPa | 体積弾性係数<br>K <sub>max</sub><br>kPa | 平均有効拘束圧<br>$\sigma'_{mo}$<br>kPa | 拘束圧依存係数<br>m <sub>k</sub> | 内部摩擦角<br>$\phi_f$<br>deg | 粘着力<br>C<br>kPa | 履歴減衰上限値<br>h <sub>max</sub> |
|-----------|-----------|-----------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------------------|
| シルト<br>細砂 | 1         | 4         | 1.918                                | 130                     | 20400                              | 53210                             | 7.05                             | 0.5                       | 0                        | 60              | 0.24                        |
|           | 4.5       | 7         | 1.969                                | 130                     | 33280                              | 86790                             | 26.6                             | 0.5                       | 39.5                     | 0               | 0.24                        |
|           | 10.5      | 15        | 1.969                                | 180                     | 63800                              | 166380                            | 60.4                             | 0.5                       | 39.5                     | 0               | 0.24                        |
|           | 25        | 12        | 1.969                                | 190                     | 71080                              | 185370                            | 133.4                            | 0.5                       | 39.5                     | 0               | 0.24                        |

表-2 RC杭の材料特性

| 杭の特性 | 項目        | 記号     | 単位                 | 値        |
|------|-----------|--------|--------------------|----------|
| 材料特性 | 単位体積重量    | $\rho$ | t/m <sup>3</sup>   | 2.45     |
|      | ポアソン比     | $\nu$  | -                  | 0.2      |
|      | ヤング係数     | E      | kN/mm <sup>2</sup> | 25       |
|      | せん断弾性係数   | G      | kN/mm <sup>2</sup> | 10.4     |
| 断面特性 | 直径        | D      | m                  | 0.8      |
|      | 断面積       | A      | m <sup>2</sup>     | 0.5027   |
|      | 断面二次モーメント | I      | m <sup>4</sup>     | 0.0201   |
|      | 初期曲げ剛性    | EI     | kNm <sup>2</sup>   | 5.03E+05 |

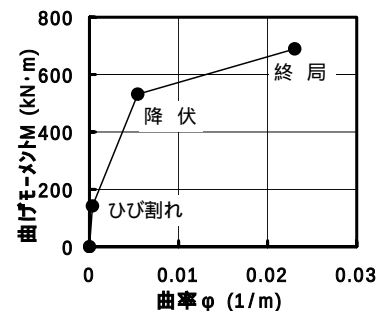


図-1 RC杭の曲げモーメント-曲率関係<sup>4)</sup>

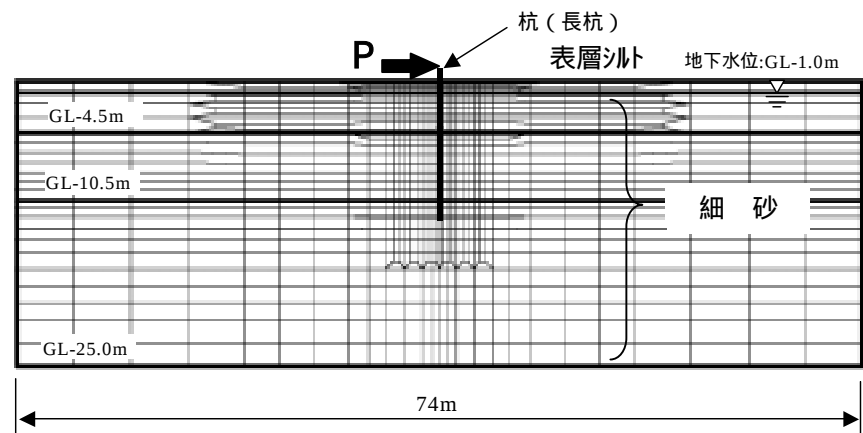


図-2 解析モデル

キーワード：杭、砂地盤、相互作用ばね、有限要素解析（FEM）、地盤反力、水平載荷試験

連絡先：〒108-8544 東京都港区芝浦3-12-8 安藤建設株式会社 TEL 03-3457-9385

### 3. 検討結果

解析で求めた短杭および長杭の荷重-変位関係を図-3および4にそれぞれ示す。地表面の影響を考慮する場合、解析値と実験値が最も良く合う曲線は、低減係数=0.9であった。従って、この低減係数(0.9)を用いて杭の変位分布・曲げモーメント分布・地盤反力分布(実験値なし)の計算を行った。以下に解析値と実験値を比較したものを示す。(短杭:図-5~7、長杭:図-8~10)いずれの項目においても解析値は、実験値の曲線特性をうまく再現している。

水平地盤反力は  $GL \pm 0 \sim -1.0m$  のシルト層を除いた砂質土において地表面に向かうほど極限水平地盤反力(理論値)に解析結果が近づいているのが分かる。

**4. まとめ** 周辺地盤の状態を参照してばね特性を変化させる杭-地盤相互ばねは、砂質地盤において単杭の静的な挙動をよく表現できることが分かった。さらに、地表面の影響を考慮する低減係数を導入することにより解析精度はより向上した。今後は、杭・地盤状況に応じた低減係数の把握が必要と考える。

**謝辞:** 本検討は FLIP の改良と高度利用法の研究を推進する目的で設立された FLIP 研究会(事務局:(財)沿岸開発技術研究センター)の活動の一環として実施されたものである。

また、東京電力(株)技術開発研究所から貴重なデータを提供していただいた。ここに謝意を表します。

### 参考文献

- 1)Iai,Matsunaga,Kameoka: Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol.32, No.2, pp.1-15, 1992
- 2) 小堤ほか: 2次元有効応力解析における杭と液状化地盤の相互作用のモデル化、第38回地盤工学研究発表会、2003.7(投稿中)。
- 3) 佐藤・大矢・松島: 実物大単杭の水平載荷実験における杭と砂質土地盤および粘性土地盤の挙動、土木学会論文集、No.715/ -60、pp.357-367, 2002.9
- 4) 佐藤・大矢・松島: 杭頭回転固定条件による実物大単杭の大変形水平載荷実験、土木学会論文集、No.714/ -56、pp.95-109, 2002.9。
- 5) 小竹ら: 土の構成則に関連する相互作用ばねを用いた単杭の水平載荷実験の2次元有限要素解析 - その3、地表面の影響 -、第38回土木学会年次講演会、2003.9(投稿中)

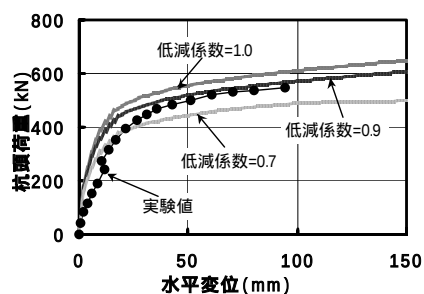


図-3 短杭 杭頭の荷重-変位関係

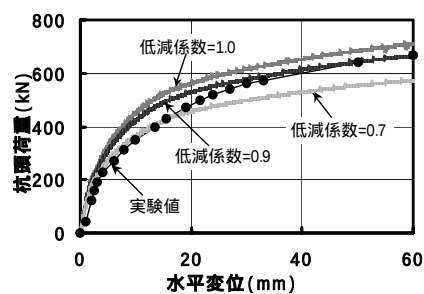


図-4 長杭 杭頭の荷重-変位関係

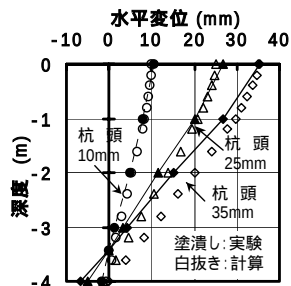


図-5 短杭 変位分布 (低減係数=0.9)

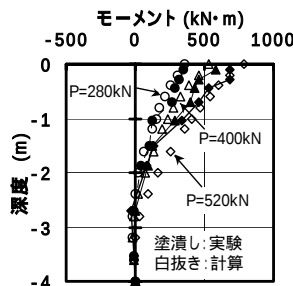


図-6 短杭 曲げモーメント分布 (低減係数=0.9)

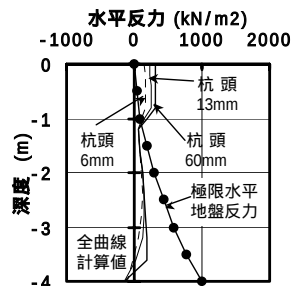


図-7 短杭 水平反力分布 (低減係数=0.9)

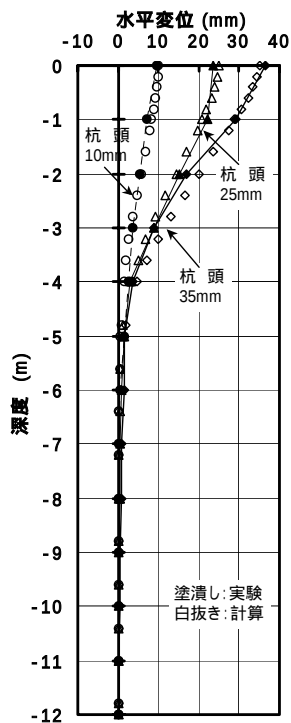


図-8 長杭 変位分布 (低減係数=0.9)

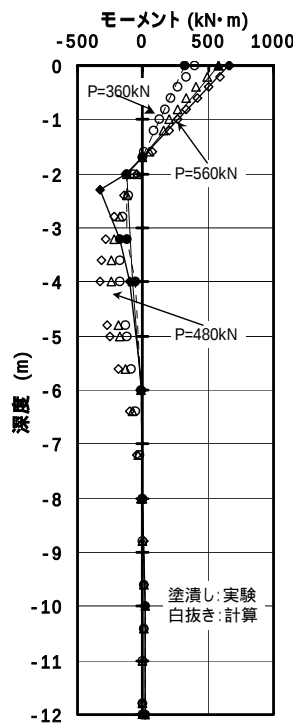


図-9 長杭 曲げモーメント分布 (低減係数=0.9)

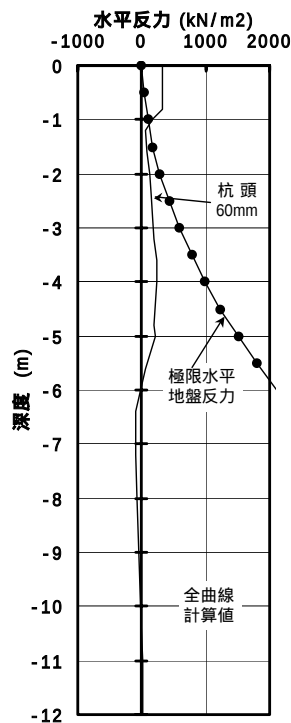


図-10 長杭 水平反力分布 (低減係数=0.9)